

Proyecto de curso

El Problema de la Ubicación de Instalaciones de Capacidad Acotada (PUICA)

Análisis de Algoritmos II

Escuela de Ingeniería de Sistemas y Computación



Profesor Juan Francisco Díaz Frias Profesor Jesús Alexander Aranda
Monitor Mauricio Muñoz

Abril de 2024

1. Introducción

El presente proyecto tiene por objeto verificar que los estudiantes han adquirido el siguiente resultado de aprendizaje:

Construye modelos de optimización en términos de parámetros, variables, restricciones y función objetivo, a partir de un problema determinado, para explorar soluciones prácticas utilizando herramientas computacionales de modelamiento y solvers existentes.

Modelo con
* parámetros
* variables
* restricciones
* función objetivo

Para ello, los estudiantes deben demostrar que logran:

- Utilizar el método **branch and bound** para resolver problemas de programación **binaria**, **entera** y **mixta**.
- Usa técnicas de **programación lineal** para **modelar/solucionar** problemas de programación lineal en terminos de parámetros, variables, restricciones y función objetivo.
- Usa técnicas de **programación entera** para modelar/solucionar problemas de programación

entera en términos de parámetros, variables, restricciones y función objetivo.

- Usa técnicas de **programación entera mixta** para modelar/solucionar problemas de programación entera mixta en términos de parámetros, variables, restricciones y función objetivo.
- Usa un **lenguaje de modelamiento** para escribir y probar modelos de programación lineal, entera y entera mixta. **MiniZinc**

Para ello el estudiante:

- Desarrolla un **programa** utilizando tecnologías de programación adecuadas para resolver en grupo un proyecto de programación planteado por el profesor.
- Escribe un **informe** de proyecto, presentando los aspectos más relevantes del desarrollo realizado, para que un lector pueda evaluar el proyecto.
- Desarrolla una **presentación digital**, con los aspectos más relevantes del desarrollo realizado, para sustentar el trabajo ante los compañeros y el profesor.

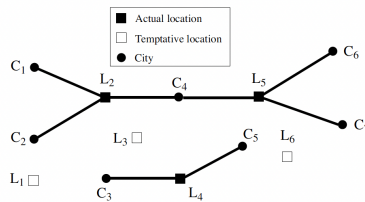
2. El Problema de la Ubicación de Instalaciones de Capacidad Acotada (PUICA)

2.1. El problema

El problema de decidir **dónde ubicar un cierto número de instalaciones** de una planta de producción, **entre un cierto número de sitios posibles** para hacerlo, teniendo en cuenta las necesidades de los clientes, y cierto criterio económico de optimización, tiene muchas aplicaciones prácticas potenciales.

Por ejemplo, imagine una gran empresa (coca cola, postobón, D1, ...) teniendo que decidir dónde ubicar sus instalaciones en una región (ciudad, departamento, país, ...) de manera tal que pueda satisfacer la demanda de sus clientes, **minimizando los costos de producción y envío.**

La imagen a continuación muestra una solución para satisfacer 7 clientes, escogiendo la ubicación de las plantas entre 6 posibles sitios.



2.2. Formalización

Sea $n \in \mathbb{N}$ el número de clientes.

Sea $m \in \mathbb{N}$ el número de sitios donde puede ser ubicada una instalación.

Sea $f_i \in \mathbb{R}$ el costo fijo de construcción y puesta a punto de la instalación $i \in 1..m$

Sea $c_i \in \mathbb{N}$ la capacidad máxima de producción de la instalación $i \in 1..m$

Sea $d_c \in \mathbb{R}$ la demanda (cantidad de producto) del cliente $c \in 1..n$

Sea $b_{ci} \in \mathbb{R}$ el beneficio por unidad vendida al cliente c desde la instalación i , $c \in 1..n$, $i \in 1..m$. Este valor tiene incluidos los **costos de producción** en la instalación i , la **demand** y el **precio de venta** al cliente c y los **costos de transporte** entre el cliente c y la instalación i .

El problema consiste en decidir en qué sitios abrir las instalaciones de manera que se **satisfaga**

satisfy: demanda
subject to: capacidad de producción
&&
maximize: utilidad
considerando: gastos de apertura, beneficio...

la demanda de los clientes **sin sobrepasar la capacidad de producción** de ninguna de las instalaciones, y se **maximice la utilidad total**, teniendo en cuenta los costos fijos de apertura de las instalaciones.

El Problema de la Ubicación de Instalaciones de Capacidad Acotada (PUICA)

Entrada: $n \in \mathbb{N}, m \in \mathbb{N}, f_i \in \mathbb{R}, c_i \in \mathbb{N}, i \in 1..m, d_c \in \mathbb{R}, c \in 1..n$ y $b_{ci} \in \mathbb{R}, c \in 1..n, i \in 1..m$

Salida: $x_{ci}, c \in 1..n, i \in 1..m$ los productos que se enviarán al cliente c desde la instalación i , y $a_i \in \{0, 1\}, i \in 1..m$ tal que $a_i = 1$ si la instalación i se abre. Además se **maximiza la utilidad**, respetando todas las restricciones mencionadas.

x_{ci} : Producto que se enviara a un cliente c desde una instalacion i
 a_i (bool {0,1}): 1 si la instalacion i se abre.

2.3. ¿Entendimos el problema?

Una compañía desea construir varias plantas industriales para suplir la demanda de un producto en 7 ciudades. La demanda en esas ciudades, basada en factores demográficos y en características sociales, se estima de la siguiente manera:

Ciudad c	Demanda: d_c
C_1	1.5
C_2	2.0
C_3	3.0
C_4	4.0
C_5	2.5
C_6	1.0
C_7	2.0

Un estudio ha sugerido 6 posibles lugares para ubicar esas plantas. **Se supone que todas las plantas tendrán las mismas características:** la máxima capacidad de producción de cada planta es de 6 unidades, y el costo de instalación de cada planta ha sido estimado en 10 unidades monetarias por el período del estudio.

El **beneficio esperado** por vender a la ciudad c una unidad manufacturada en la instalación i se describe en la tabla siguiente:

Sitios (L_i)	Ciudades (C_c)						
	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
L_1	4.0	4.5	2.5	0.5	1.0	0.5	-3.5
L_2	4.0	4.5	2.5	4.2	3.5	1.5	-0.5
L_3	3.5	5.0	4.0	3.5	4.5	1.5	0.0
L_4	1.3	3.0	5.0	3.3	5.5	1.8	1.3
L_5	0.5	1.0	1.5	5.0	4.0	5.5	3.0
L_6	-1.0	0.0	1.5	3.3	4.0	4.5	2.0

Los tomadores de decisiones deben **determinar la cantidad de plantas a abrir** (entre los m sitios disponibles) de manera que **la demanda de las ciudades sea satisfecha**, las restricciones de producción de los sitios sea satisfecha también, y se obtenga el **máximo beneficio**. **El beneficio total se obtiene a partir de la tabla de beneficios, pero restando el costo de instalación de cada planta que se abra.**

En este caso la entrada se describiría así:

Entrada: $n = 7, m = 6, f_i = 10, c_i = 6, i \in 1..m$,
 $d_c, c \in 1..n$ según la tabla de demanda, y
 $b_{ci}, c \in 1..n, i \in 1..m$ según la tabla de beneficios.

Describa al menos **tres salidas diferentes** para esta instancia, que cumpla todas las restricciones y calcule el beneficio.

¿Es alguna de ellas una solución óptima? Si no, describa una solución óptima.

3. El proyecto: Modelamiento e Implementación

Usted como ingeniero ha sido contratado para resolver el problema y debe:

- Proponer un **modelo genérico** para solucionar el problema PUICA. El modelo debe ser incluido en **formato pdf** y debe contener: **parámetros, variables, restricciones, función objetivo**. El modelo debe utilizar notación formal para que soporte cualquier instancia con la entrada definida en la Sección 3.1.
- Generar 5 instancias para retar a otros proyectos. Para cada instancia debe incluir la entrada y la salida esperada (el valor del óptimo, o por lo menos el valor de la mejor solución que su grupo haya encontrado)
- Implementar el modelo genérico en MiniZinc (**PUICA.mzn**).
- Incluir una tabla con pruebas realizadas sobre las instancias que se proveen con el proyecto y las 5 instancias creadas por su grupo de trabajo. Realice un análisis sobre los resultados obtenidos (incluya el análisis en el informe con el modelo).

- Desarrollar una interfaz gráfica con la tecnología de su predilección que permita configurar o leer una entrada para el problema (la entrada deberá convertirse a formato dzn para poder ser ejecutada por el modelo cumpliendo con las características de la entrada definida en la Sección 3.1) y visualizar la salida. Esta interfaz junto con el modelo sería el entregable para el cliente y será utilizada por algún operador. La interfaz debe incluir un botón que al presionarlo:

- Cree un archivo **DatosPUICA.dzn** con los datos proporcionados en la interfaz
- Ejecute el modelo genérico **PUI-CA.mzn** sobre los datos proporcionados
- Despliegue los resultados de la solución

- Incluya los archivos fuente de su implementación gráfica en un directorio llamado **PUI-CAGUIFuentes**

Para mayor información sobre la forma de ejecutar un modelo MiniZinc a través de línea de comandos visite:

- Modelamiento básico en MiniZinc: <https://www.minizinc.org/doc-2.2.3/en/modelling.html>
- Modelos más complejos: <https://www.minizinc.org/doc-2.2.3/en/modelling2.html>

- Hacer un vídeo de máximo 4 minutos donde muestre su aplicación funcionando. Debe explicar brevemente los componentes y realizar por lo menos dos pruebas con distintas configuraciones donde se muestren las soluciones en la interfaz gráfica. **Se debe incluir un enlace al video en el archivo pdf del informe.**

3.1. Entrada

La entrada se leerá de un **archivo de texto *.pca** con la siguiente información:

1. La primera línea contiene un entero indicando el número de clientes(es decir, conteniendo n).

- La segunda línea contiene un entero indicando el número de sitios (es decir, conteniendo m).
- La siguiente línea contiene, una lista de m valores separados por comas, correspondientes, en su orden, a los valores de $f_i, i \in 1..m$.
- La siguiente línea contiene, una lista de m valores separados por comas, correspondientes, en su orden, a los valores de $c_i, i \in 1..m$.
- La siguiente línea contiene, una lista de n valores separados por comas, correspondientes, en su orden, a los valores de $d_c, c \in 1..n$.
- Las siguientes n líneas, contienen, cada una, una lista de m valores separados por comas, correspondientes, en su orden, a los valores de $b_{ci}, c \in 1..n, i \in 1..m$

El archivo correspondiente a la entrada del ejemplo de la sección 2.3 sería:

n	7
m	6
f_i	10,10,10,10,10,10
c_i	6,6,6,6,6,6
d_c	1.5,2.0,3.0,4.0,2.5,1.0,2.0
b_{ci}	4.0,4.0,3.5,1.3,0.5,-1.0
$\{1..n\}$	4.5,4.5,5.0,3.0,1.0,0.0
	2.5,2.5,4.0,5.0,1.5,1.5
	0.5,4.2,3.5,3.3,5.0,3.3
	1.0,3.5,4.5,5.5,4.0,4.0
	0.5,1.5,1.5,1.8,5.5,4.5
	-3.5,-0.5,0.0,1.3,3.0,2.0

En el campus se compartirán ejemplos de entradas con sus respectivas salidas (Nota: es posible que en algunos casos haya varias soluciones que tengan el mismo valor para la función objetivo)

3.2. Sobre el Informe...

El grupo deberá entregar un informe del proyecto, en formato pdf, que contenga, al menos, los siguientes aspectos:

- El modelo:** una descripción del modelo y una justificación de su adecuación al problema planteado.

- Detalles importantes de implementación:** lo más relevante de la implementación, sin incluir código.
- El análisis de los árboles generados** por su modelo para el ejemplo, y explicar sobre él cómo funcionó el mecanismo de *Branch and Bound*.
- Pruebas:** descripción de las pruebas realizadas a su implementación.
- Análisis:** de los resultados de las pruebas realizadas, buscando responder a los diferentes criterios de evaluación definidos en la rúbrica. Desarrolle y soporte su análisis utilizando los métodos apropiados (tablas, gráficos, indicadores estadísticos), donde puedan apreciarse las variaciones de acuerdo al tamaño y naturaleza de los datos de entrada. Explique claramente el significado de sus datos y cómo se analizaron.
- Un enlace al video explicatorio de la interfaz gráfica**
- Conclusiones:** Esta es una de las partes más interesantes del trabajo (pero no por ello la que más vale). En ella se espera que usted analice los resultados obtenidos y justifique claramente sus afirmaciones.

3.3. Grupos de trabajo

El proyecto puede ser desarrollado por grupos de máximo 4 personas.

4. Entrega, sustentación y evaluación

4.1. Entrega

La entrega se debe realizar vía el campus virtual en las fechas previstas para ello, por uno sólo de los integrantes del grupo. **La fecha de entrega límite es el 21 de mayo de 2024 a las 23:59. La sustentación será en las sesiones del 6 y 11 de junio de 2024 (o en otras si hay un cambio de última hora).** Se debe subir al campus virtual en el enlace correspondiente a este proyecto un archivo comprimido

.zip que siga la convención *CódigoEstudiante1-CódigoEstudiante2-CódigoEstudiante3-CódigoEstudiante4-Proyecto2-AdaII.2024-I.zip*.

El comprimido deberá contener:

1. Archivo **Readme.txt** que describa todos los archivos entregados y las instrucciones para ejecutar la aplicación.
2. Archivo **Informe.pdf** acorde a la Sección 3.2. Recuerde incluir el link al video explicatorio.
3. Archivo **PUICA.mzn** con la implementación del modelo
4. Directorio **DatosPUICA** con los datos con que fue probado su modelo.
5. Directorio **PUICAGUIFuentes** con los archivos fuente de la implementación de la interfáz gráfica
6. Directorio **MisInstancias** con las 5 instancias generadas por su equipo de trabajo para retar a otros proyectos que resuelvan el mismo problema.

4.2. Evaluación

La evaluación de cada proyecto se hará de acuerdo a la rúbrica publicada en el campus virtual, di-

señada para observar los indicadores de logro asociados a este proyecto.

4.3. Sustentación

El trabajo debe ser sustentado por los autores en día y hora señalados arriba. En todos los casos la sustentación será pilar fundamental de la nota individual asignada a cada integrante del grupo. En la sustentación se demuestra la capacidad del grupo de navegar en el código y realizar cambios rápidamente en él, así como la capacidad de responder con solvencia a las preguntas que se le realicen.

Cada persona de cada grupo, después de la sustentación, tendrá asignado un número real (el factor de multiplicación) entre 0 y 1, correspondiente al grado de calidad de su sustentación. **Su nota definitiva será la calificación del proyecto para el grupo, multiplicada por ese valor.** Si su asignación es 1, su nota será la del proyecto. Pero si su asignación es 0.9, su nota será 0.9 por la nota del proyecto. La no asistencia a la sustentación tendrá como resultado una asignación de un factor de 0.

La idea es que lo que no sea debidamente sustentado no vale así funcione muy bien!!! Y que, del trabajo en grupo, es importante que todos aprendan, no sólo algunos.

Éxitos!!!